

Valtteri Airas

**AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN
KANNATTAVUUSTARKASTELU
Taloudet Kalajoella ja Muuramessa**

Opinnäytetyö

CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Lokakuu 2015

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö CENTRIA- AMMATTIKORKEAKOULU, Ylivieska	Aika Lokakuu 2015	Tekijä/tekijät Valtteri Airas
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUSTARKASTELU, Taloudet Kalajoella ja Muuramessa		
Työn ohjaaja Yrjö Muilu		Sivumäärä 38
Työelämäohjaaja -		
<p>Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää laskennallisesti aurinkopaneelien takaisinmaksuajat kahdessa taloudessa Kalajoella ja Muuramessa. Talojen sähkökulutukset poikkesivat toisistaan lukuun ottamatta kesäaikaa. Tutkimukseen valittiin molempiin kohteisiin monikiteiset 3 kWp aurinkopaneelit, joiden teho valittiin heinäkuun sähkönkulutuksen mukaan. Tällöin kotitaloudet voisivat käyttää kaiken tuottamansa sähköenergian itse, mikä on kustannustehokkainta. Takaisinmaksuaika oli 16,5 vuotta Kalajoen kohteessa, missä paneelit hankittiin asennettuina. Muuramen kohteessa asennus tehtiin omana työnä ja se lyhensi takaisinmaksuaikaa 14,7 vuoteen. Saadut tulokset ovat 10–30 % heikompia kuin markkinoilla yleisesti luvataan. Tulevaisuudessa kuitenkin takaisinmaksuaika voi lyhetä huomattavasti aurinkopaneeliteknologian kehittyessä ja aurinkoenergiaa paremmin tukevalla energiapolitiikalla.</p>		

Asiasanat

Aurinkokenno, aurinkopaneeli, aurinkovoimala, kilowatti, kilowattitunti, takaisinmaksuaika

ABSTRACT

Unit CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Ylivieska	Date October 2015	Author/s Valtteri Airas
Degree programme Bachelor of Engineering, electricity and energy technology		
Name of thesis FEASIBILITY STUDY OF THE SOLAR PANEL SYSTEM for Houses in Kalajoki and Muurame		
Instructor Yrjö Muilu		Pages 38
Supervisor -		
<p>The purpose of this study is to calculate the payback of solar panels in houses in Kalajoki and Muurame. However, the houses' electrical consumption differed from each other, except for daylight saving time. It was decided to install 3 kWp multicrystalline solar panels to both destinations. The power output was based on July electricity consumption. This means that the households can use the entire output of the electrical energy themselves in a cost-effective manner. The repayment period is 18 years in Kalajoki, where the panels were already mounted when purchased. In Muurame the installation was done in-house, thus shortening the payback period to 16 years. The study shows that the results are 20% to 50% below the overall market promises. However, in the future the payback period can be shortened significantly due to further developments in solar technology and the emergence of energy policies more supportive to solar energy.</p>		

Key words Kilowatt, kilowatt-hour, payback time, solar cell, solar panel
--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ ABSTRACT

1. JOHDANTO	1
2. TIETOPERUSTA	2
2.1. Aurinkoenergia	2
2.2. Aurinkoenergia Suomessa	3
2.3. Aurinkoenergian käyttökohteet	3
2.4 Suomen kannalta kiinnostavia teknisiä ratkaisuja	3
2.5 Aurinkopaneelit	4
2.5.1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate	4
2.5.2 Aurinkopaneelien tyypit.....	7
2.5.3. Aurinkopaneelijärjestelmä	10
2.5.4 Sähköntuotanto	11
2.5.5 Tehon tarve.....	12
2.5.7 Aurinkoenergiamarkkinat	12
3. Aineisto ja menetelmät	14
3.1 Tutkimuksen kohteet	14
3.2 Kohteiden sähkön kulutus	14
3.3 Voimalan ja voimalakoon valinta	20
3.4 Aurinkopaneelijärjestelmien valinta	21
3.5 Laskentamenetelmät	22
3.6 Takaisinmaksuaika	22
4. TULOKSET	23
4.1 Aurinkovoimalan tuotto.....	23
4.2. Takaisinmaksu kohteisiin	29
4.2.1 Tulokset Kalajoki.....	30
4.2.2 Tulokset Muurame	30
5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	32

LÄHTEET	36
KUVIOT	36
TAULUKOT.....	37

1. JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää laskennallisesti kahden eri puolella Suomea sijaitsevan suorasähkölämmitteisen talouden aurinkopaneelien tuottamaa hyötyä energian tuotannossa ja paneelien takaisinmaksuaikaa. Asunnot olivat neliömäärältään lähes samankokoiset ja sijaitsevat Kalajoella ja Muuramessa. Sähkön vuotuinen käyttö erosi kuitenkin huomattavasti, sillä Muuramen kohde oli omavarainen polttopuun suhteen ja polttopuuta käytettiin aktiivisesti huoneiston lämmittämiseen varaavaa takkaa hyväksikäyttäen. Edellä mainitusta syystä sähkönkulutus Muuramen kohteessa oli noin puolet Kalajokeen verrattuna. Tämän eroavaisuuden katsottiin kuitenkin olevan hyödyksi opinnäytetyössä, sillä se mahdollisti laajemman näkökulman käsiteltävään aiheeseen.

Aiheen valintaan vaikutti tekijän suunnitelmat perustaa oma aurinkosähköyksikkö omakotitaloon ja sitä kautta halu tutustua aurinkopaneelisiin ja niiden kannattavuuteen. Lisäksi haluttiin tutkia kaupallisten sivustojen antamia ristiriitaisia ja ehkä ylioptimistisia lupauksia energian tuotantomääristä.

2. TIETOPERUSTA

2.1. Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on säteilyenergiaa auringosta. Energiämäärä auringosta, joka saavuttaa maan pinnan vuoden kuluessa, on 15 000 kertaa suurempi kuin koko maailman primäärienergian kulutus. Kokonaisuudessa auringosta säteilee energiaa 2 miljardia kertaa enemmän kuin maahan osuva osuus.

Aurinkosäteilyn voimakkuus atmosfäärin yläosissa on noin 1370 W/m^2 (Aurinkovakio). Osa säteilystä heijastuu ja suodattuu ilmakehään. Kirkkaalla säällä aurinkosäteilyn voimakkuus maanpinnalla on n. 1 kW/m^2 . Pilvisyyden, sumuisuuden ja pölyn suodattavasta/heijastavasta vaikutuksesta johtuen auringon suora säteily maahan nähden on keskimäärin hiukan alle $0,5 \text{ kW/m}^2$.

Auringon lämmittäessä ilmakehää, maan pintaa ja vesistöjä muodostuu mm. tuulet, aallot, merivirrat ja sateet, joista voidaan erilaisilla mekaanisilla laitteilla, kuten purjeilla ja turbiineilla, tuottaa mekaanista energiaa. Kasvit puolestaan tuottavat vedestä ja hiilidioksidista fotosynteesin avulla biomassaa, josta erilaisilla polttomenetelmillä voidaan tuottaa energiaa käyttöömmme. Lukuun ottamatta ydinenergiaa, gravitaatioenergiaa, maan pyörimisenergiaa ja geotermistä energiaa, auringosta tuleva energia tuottaa kaiken muun energian maapallolla.

1970-luvulta lähtien on alettu kasvavissa määrin kehittämään järjestelmiä aurinkoenergian muuttamiseksi hyödylliseksi lämpöenergiaksi, mekaaniseksi ja sähköenergiaksi, sekä kemiaan perustuvaksi energiaksi. Auringon säteilyä voidaan käyttää hyväksi lähes kaikkialla asutuilla seuduilla maapallolla, mutta kaupallisesti on katsottu, että kiinnostavimmat kohteet maailmassa ovat vähäpilviset alueet eli kuivat ja vähäsateiset, kuten aavikot. Huomioitavaa kuitenkin on, että tällä hetkellä maailman johtava aurinkoenergian tuottaja löytyy niinkin pohjoisesta kuin Saksa (Store norske leksikon, 2015).

2.2. Aurinkoenergia Suomessa

Aurinkoenergiasta on olemassa paljon tietoa eri tietolähteissä. Motiva Oy on Suomen valtion kokonaan omistama asiantuntijayritys, joka kannustaa energian ja materiaalien tehokkaaseen ja kestäväan käyttöön. Motivan sivustoja on käytetty tässä tutkimuksessa perustiedon lähteenä.

Auringon energiaa on mahdollista hyödyntää paljon nykyistä enemmän sekä lämmön että sähkön tuotannossa Suomessa. Etelä-Suomessa jokainen neliömetri vastaanottaa vuoden aikana vaakatasossa laskettuna noin 1 000 kilowattituntia auringonsäteilyä. Vain keskitalvella joului-tammikuussa, jolloin aurinko on matalalla tai kokonaan horisontin takana, auringon energiaa ei juurikaan saada talteen.

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää joko passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivisesti auringon valoa ja lämpöä voidaan käyttää suoraan ilman erillistä laitetta esimerkiksi optimoimalla talon ja sen ikkunoiden sijainti suhteessa auringonsäteilyyn. Aktiivisessa hyödyntämisessä auringonsäteily muunnetaan joko sähköksi aurinkopaneeleilla tai lämmöksi aurinkokeräimillä. Pientaloissa voidaan käyttää sekä passiivisia että aktiivisia menetelmiä. Aurinkopaneeleilla säteilyn määrästä voidaan muuttaa noin 15 prosenttia sähköksi ja aurinkokeräimillä noin 25-35 prosenttia lämmöksi. (Motiva, 2015.)

2.3. Aurinkoenergian käyttökohteet

Aurinkolämmitysjärjestelmä voidaan yhdistää kaikkiin päälämmitysmuotoihin. Erityisen hyvin se soveltuu sellaisen lämmitysjärjestelmän yhteyteen, jossa jo on vesivaraaja (esimerkiksi puu- tai hakelämmitys), mutta myös lämpöpumpputjärjestelmiin. Öljy- ja aurinkolämmön yhdistämiseksi on kehitetty tarkoitukseen sopiva öljykattila. Sähkölämmitteisessä talossa aurinkosähköllä voidaan lämmittää käyttövesi ja jos talon lämmönjako on vesikiertoinen, voidaan aurinkolämpöä käyttää myös huoneiden lämmittämiseen kytkemällä se lämminvesivaraajaan.

Aurinkosähköjärjestelmiä on perinteisesti käytetty siellä, missä verkkosähköä ei ole saatavilla. Tavallisimpia niin kutsuttuja omavaraisia sovelluskohteita ovat esimerkiksi kesämökit, veneet, väyläloistot, linkkimastot ja saaristo- ja erämaakohteet. Aurinkosähköllä voidaan kuitenkin tuottaa huomattava osa myös esimerkiksi kotitalouden tarvitsemasta sähköstä. Sähköverkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät ovatkin yleistymässä. (Motiva 2015.)

2.4 Suomen kannalta kiinnostavia teknisiä ratkaisuja

Tekes-projekti SOLPROS (2001) on tuottanut kiinnostavia ratkaisuja Suomen aurinkoenergiapotentiaaleista. SOLPROS-projektin mukaan rakennettu ympäristö ja rakennusten energiasäätelyjärjestelmät ovat aurinkosähkön (Photovoltaic) tärkeimmät tulevaisuuden markkinasegmentit kehitysmaiden energiahuoltoratkaisujen ohella. Toimisto- ja julkisten rakennusten julkisivut tai pientalojen katot voivat olla potentiaalisia aurinkopaneelien

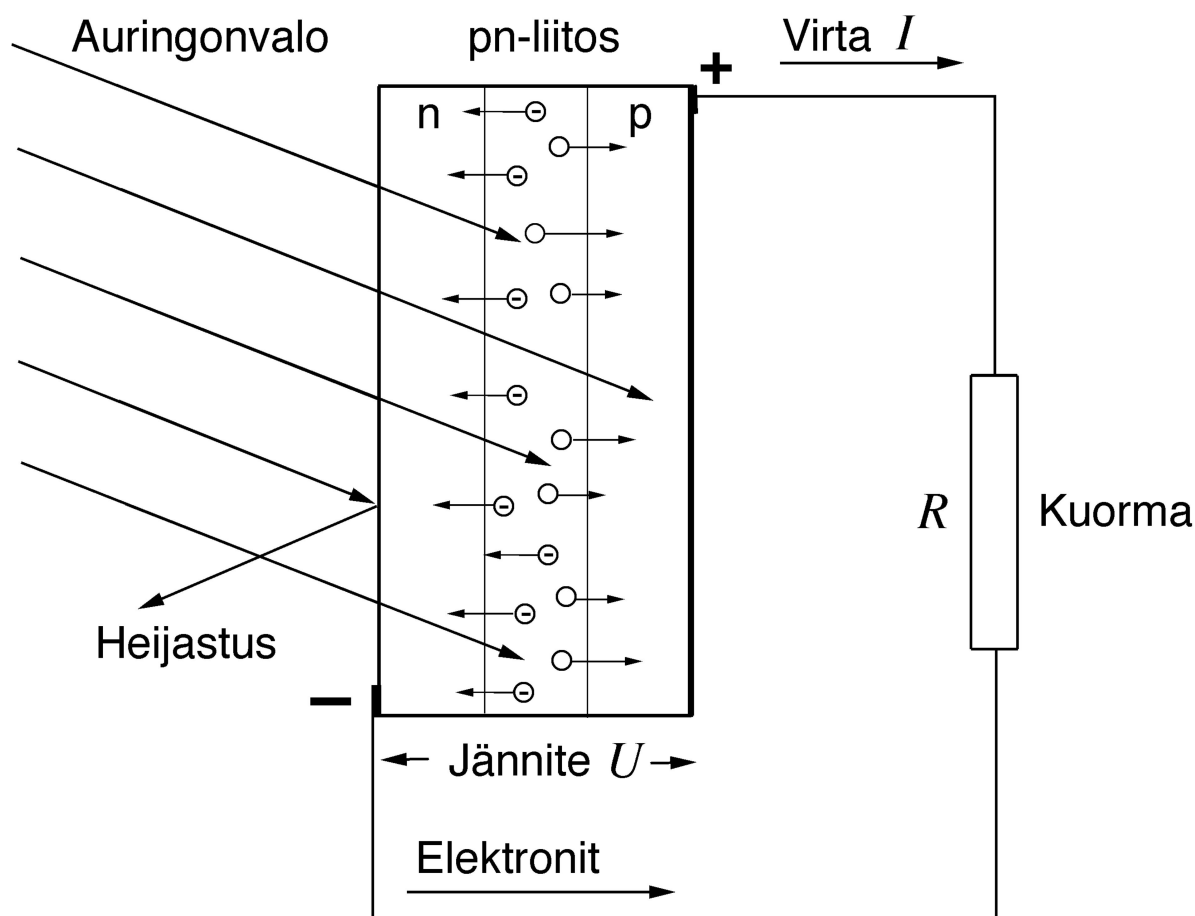
integrintikohteita. Kansainvälisessä selvityksessä (IEA Task 7) on arvioitu, että Suomesta löytyy 118 km² kattopintaa ja 34 km² julkisivua aurinkosähkölle erilaiset rajoitukset ja vaatimukset huomioon ottaen. Kun aurinkosähköjärjestelmän energiantuottomoduulit integroidaan rakennukseen, voivat moduulit korvata rakenneosia, esimerkiksi julkisivupinnoitteita. Sähkön tuotannon ohella aurinkosähkömoduulit hoitavat samalla korvattavien rakenneosien tehtäviä. Pvm-moduuleille asetetaan korkeat toimintavarmuus- ja kestävyysvaatimukset. Sertifioitu aurinkomoduuli (PV-moduuli) sopii hyvin rakennuksen sääsuojaksi. Aurinkosähkömoduulit voidaan integroida rakennukseen, rakennuksen osiin tai rakenteisiin (Aurinkoteknillinen yhdistys 2015.), (SOLARPROS AY 2001). Sopivia integrintikohteita ovat esimerkiksi:

- julkisivu tai seinärakenteet
- lasinalaisen tilan elementit
- kattorakenteet ja katokset joko vesikattona tai katon päälle asennettuna
- erilaiset erillisrakenneosat (esimerkiksi parvekkeet, pielet, lippaat)

2.5 Aurinkopaneelit

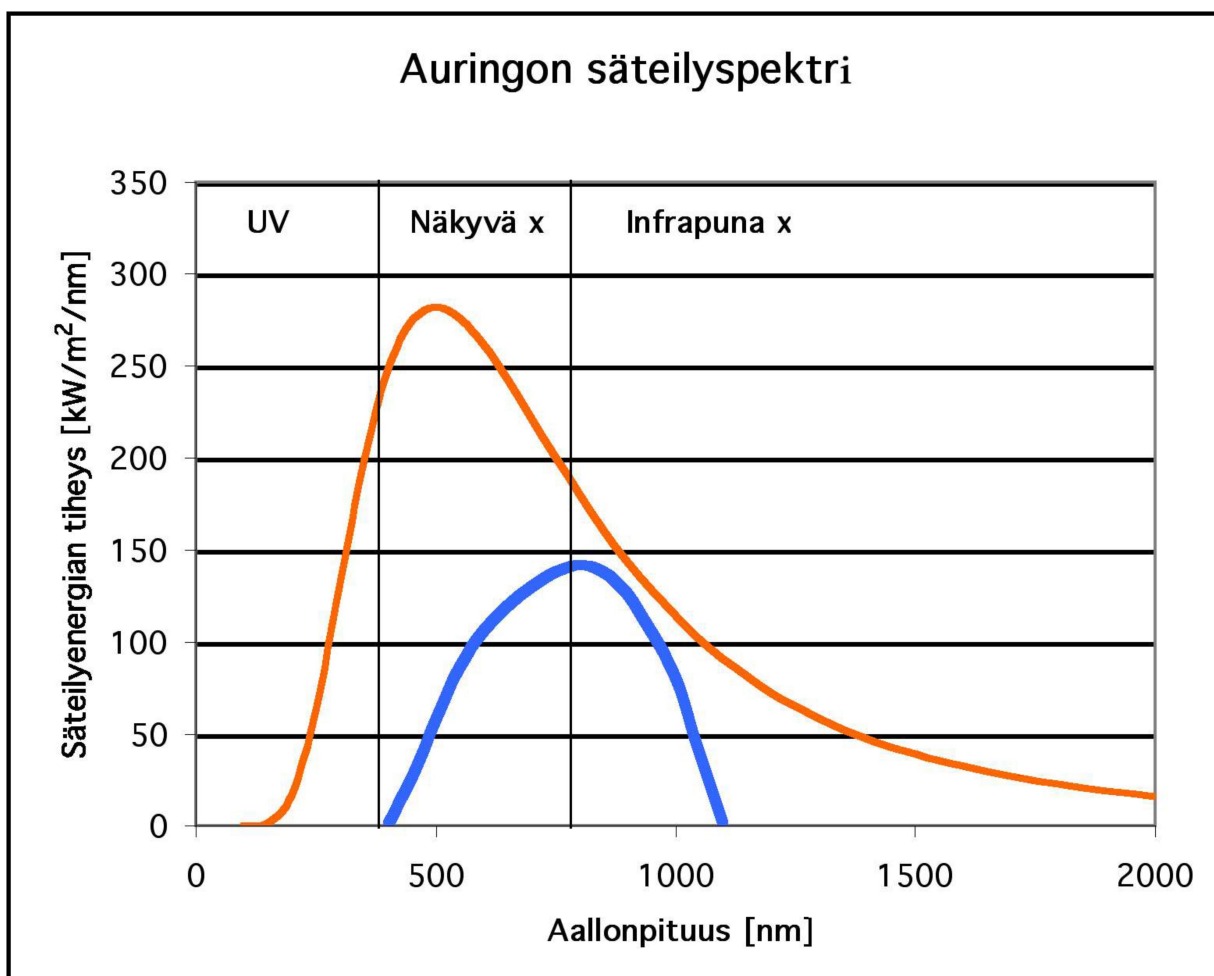
2.5.1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkokennon rakenne ja toimintaperiaate mahdollistavat auringon valon muuttamisen suoraksi sähkövirraksi (KUVIO 1). Aurinkokenno on periaatteessa hyvin suuri fotodiodi, jossa on yhdistetty kahta erityyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n). Auringon valon osuessa kennoon, ainakin osalla valohiukkasista eli fotoneista energiamäärät ovat tarpeeksi suuria, että ne pääsevät ohuen pintakerroksen läpi pn-liitokseen ja voivat näin muodostaa elektroniaukkopareja. Lähellä pn-liitosta muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea vain tiettyyn suuntaan. Niiden on kuljettava ulkoisen johtimen kautta p-tyypin puolijohteeseen, jossa ne vasta voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistun liitoksen eri puolilla on siten jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, ja liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä.



KUVIO 1. Aurinkokennon rakenne ja toimintaperiaate (Suntekno 2015)

Aurinkokennojen yleisin materiaali on pii (Si), jota käytetään yksi- ja monikiteisenä sekä myös amorfisessa muodossa. Kiteiset piikennot ovat yleensä noin 0,2 -0,3 mm paksuja ja pinta-alaltaan (90-160) mm x (120-160) mm. Yksikiteiset piikennot on sahattu yhtenäisestä piiaihiosta, jonka halkaisija on 10 – 16 cm. Koska raaka-aine on hyvin kallista, pyöreistä kiekkoista ei kannata tehdä neliskulmaisia. Tämän vuoksi yksikidepaneeleissa on aukot kennojen kulmissa. Monikiteisiä piikennoja voidaan tehdä neliskulmaisista aihioista, jolloin raaka-aine saadaan käytettyä tarkemmin hyödyksi. Amorfisesta piistä valmistetut kennot ovat taipuisia ja valmistuskustannuksiltaan halvempia, mutta niiden hyötysuhde jää pienemmäksi. (Suntekno 2015.)



KUVIO 2. Auringon säteilyspektrin muoto, sekä piikennon absorptioalue (sininen käyrä)
(Suntekno 2015)

Suurin aallonpituus, jolla fotoni saa aikaan elektroni-aukkoparin piissä (Si) on 1150 nm eli 1,15 mm (energia pienenee aallonpituuden kasvaessa). Tällainen valo on lyhytaaltoista infrapunasäteilyä, jonka aallonpituus on lähellä näkyvän alueen rajaa. Säteily, jonka aallonpituus on suurempi kuin 1,15 mm ainoastaan kuumentaa paneelia, mutta ei synnytä sähkövirtaa. Jokainen fotoni voi synnyttää vain yhden elektroni-aukkoparin. Jos fotoneilla on enemmän energiaa kuin tarvitaan elektroni-aukkoparin synnyttämiseen, osa fotonien energiasta menee hukkaan. Piikennot eivät myöskään pysty hyödyntämään lyhytaaltoista ultraviolettivaloa, joka aiheuttaa paneelin tuhoutumista pitkän ajan kuluessa. (KUVIO 2.) Missä on esitetty auringon säteilyspektrin muoto ilman ilmakehän absorptiota sekä piikennon absorptioalue.

Piikidekennojen teoreettinen hyötysuhde on 31 %. Hyötysuhdetta huonontavat mm. metallijohteiden liitokset paneelin pinnalla, resistanssi sekä heijastukset paneelin päällä olevasta lasista. Jotkut valmistajat käyttävät lasin pinnalla heijastusta vähentävää pinnoitetta, mikä parantaa paneelin hyötysuhdetta. Mitä tummemmalta paneeli näyttää, sitä vähemmän se heijastaa auringon valoa. Tällä hetkellä parhaiden piistä valmistettujen aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 18 %. (Suntekno 2015.)

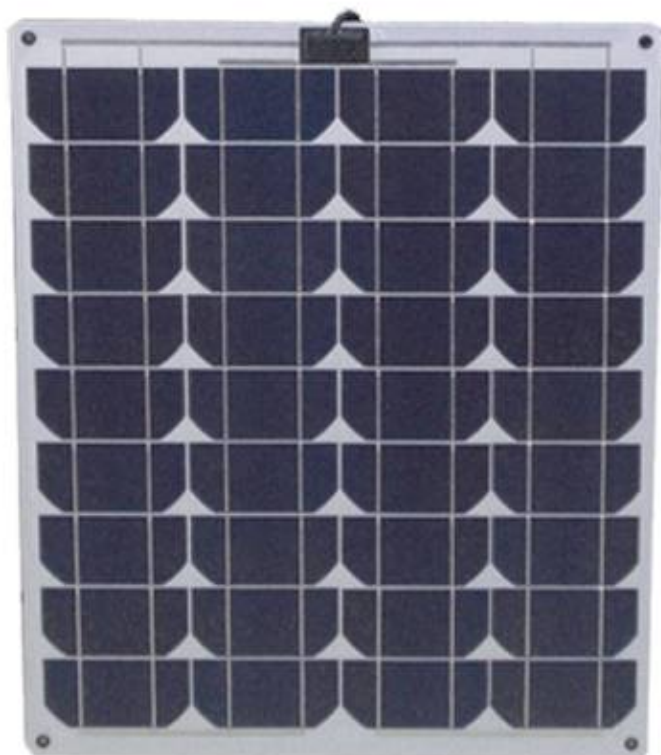
2.5.2 Aurinkopaneelien tyypit

Yksikiteinen pii

Yksikiteinen aurinkokenno (KUVIO 3.) koostuu yhdestä kasvatetusta piikiteestä, joka sahataan kiekkoiksi. Kiekko muodostaa yhden aurinkopaneelin kennon. Yksikiteisen piikennon tunnistaa aurinkopaneelissa pyöreistä nurkista, koska piitanko on alunperin kasvatettu pyöreäksi. Yksikiteisen aurinkokennon hyötysuhde on parempi, kuin monikiteisen, mutta vastaavasti se on kalliimpi.



KUVIO 3. Yksikiteinen pii aurinkokenno (Solar cell, Wikipedia 2015).



KUVIO 4. Yksikiteinen piipaneeli

(<http://media.oem.se/Archive/ProductImages/images/smallimg/106267.jpg>)

Monikiteinen pii

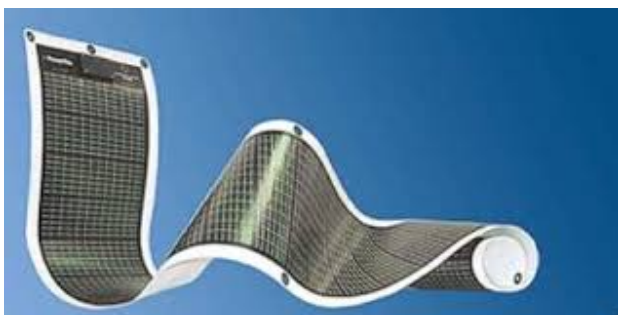
Nämä kennot ovat kooltaan suurempia kuin yksikiteiset, mutta teknologian koko ajan kehittyessä, tämä ero on pienentynyt. Nämä ovat halvempia, mutta tehokkuutensa ja suorituskykynsä puolesta heikompia kuin yksikiteiset kennot. Monikiteinen kenno (KUVIO 5.) on yleensä täysin neliskulmainen. Monikiteisestä piistä näkee helposti silmällä kennossa olevat kiteet.



KUVIO 5. Monikiteinen aurinkopaneeli (Aurinkovirta 2014)

Amorfinen pii

Amorfiset piipaneelit ovat kooltaan isoimmat ja mutta vähiten tehokkaat. Ne vaativat runsaasti tilaa. Etuna niillä kuitenkin on se, että ne toimivat hyvin heikoissa valaistusolosuhteissa. Toinen etu on se, että amorfisesta piistä valmistetut paneelit ovat erittäin joustavia ja niitä voidaan taivuttaa katon muodolle sopiviksi (KUVIO 6).



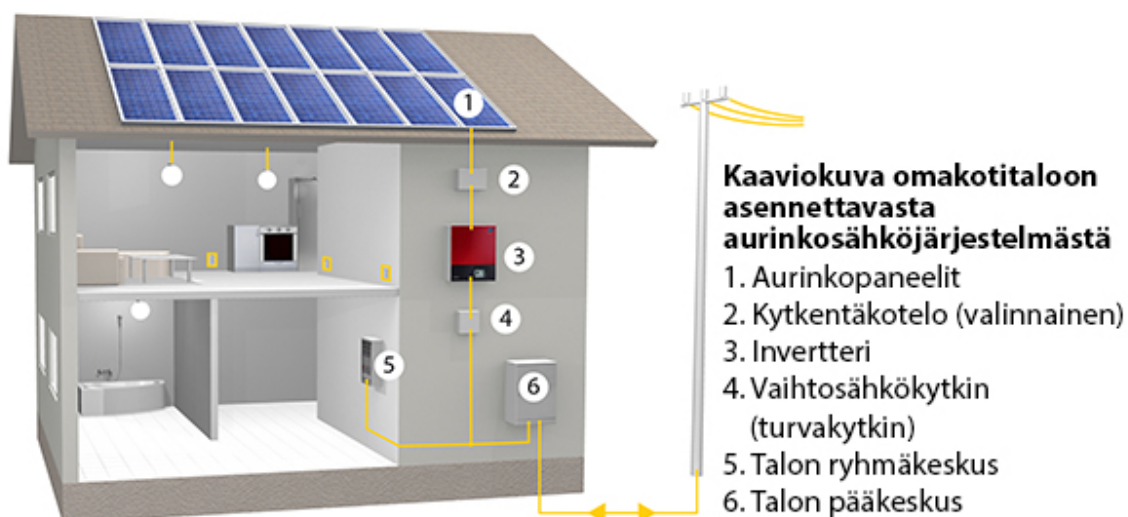
KUVIO 6. Amorfinen piipaneeli (Internet-sivu: gstatic 2015)

Hybridipaneelit

Näissä paneeleissa monikiteisen piin päälle lisätään amorfinen pii-kerros. Etuna on mm. parempi tehotiheys ja isompi tehokkuus heikolla valointensiteetillä. Haittapuolena ovat esim. suuremmat kustannukset ja vähäisempi joustavuus. (Internet-sivu: Halvat 2015)

2.5.3. Aurinkopaneelijärjestelmä

Aurinkopaneelijärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista, invertteristä, vaihtosähkökytkimestä, johtosarjoista ja asennustelineistä (KUVIO 7).



KUVIO 7. Aurinkopaneelijärjestelmä omakotitaloon (Arevasolar 2015)

Invertteri

Invertterin (KUVIO 8.) tärkein ominaisuus on että se toimii turvallisesti ja parantaa olemassa olevan sähköverkon toimintaa. Toiseksi invertterin tulee toimia tehokkaasti ja muuntaa aurinkopaneelien tuottamasta tasasähköstä hyvälaatuista siniaaltoista verkkovirtaa mahdollisimman pienin häviöin.



KUVIO 8. Invertteri (ABB 2015)

Invertterin valinta

Valintakriteereinä invertterin valinnassa tulee ottaa huomioon seuraavat ominaisuudet; laatu, hinta, invertterin riittävä teho oikeaan sähköntuotantoon, sähköverkon nykyisen tilanteen ylläpito tai parantaminen, helppo lupaprosessi verkonhaltijan suuntaan, asennuksen yksinkertaisuus, tuotantotietojen keräyslaite (dataloggeri), ohjausominaisuudet ja laajennettavuus. (Aurinkovirta 2015.)

2.5.4 Sähköntuotanto

Tuotetun aurinkosähkön määrä riippuu kulmasta, jossa auringonvalo osuu paneeliin, valon voimakkuudesta ja auringonvalon kestosta, sekä paneelin lämpötilasta.

Aurinkopaneelien asentamista arvioitaessa on ensin varmistettava, että aurinkokennot saavat riittävästi auringonvaloa niiden kuukausien aikana, jolloin kohdetta käytetään. Käyttökelpoisen auringonvalon määrä, eli tuleva auringonsäteily (insolation), mitataan kilowatteina neliometriä kohti päivässä ($\text{kWh} / \text{m}^2 / \text{vrk}$). Suunnitellulle asennusalueelle tulevan auringonsäteilyn määrä löytyy Internetin aurinkosäteilykartoista esim. www.gaisma.com. (<http://www.halvat.org/sahko/aurinkopaneeli.html>)

2.5.5 Tehon tarve

Tehon tarpeen ymmärtäminen on ensimmäinen askel kohti sopivan asennussarjan valintaa mökille tai omakotitaloon. Vaikka aurinkopaneelien käyttökustannukset ovat mitättömiä, alkuinvestointi on melkoinen. Moottoreilla varustetut paneelit, jotka seuraavat aurinkoa, ovat kalleimpia.

Aurinkovoimaa suunniteltaessa kohteelle lasketaan yhteen kaikkien niiden laitteiden tehontarve, joita oletetaan käyttäväksi samanaikaisesti. Arvioinnissa on järkevää käyttää vain päivittäisessä käytössä olevia laitteita, kuten valaisimia ja kannettavien laitteiden latureita. Lasketaan esimerkiksi 300 wattia valaisimille, 150 wattia tuulettimille ja 50 wattia kannettavalle tietokoneelle, matkapuhelinten latureille ja pienille laitteille, eli yhteensä 500 wattia. Lisätään 25% turvamarginaali, joka kattaa käynnistyksen aiheuttamia ylijänniteaaltoja ja ehkä muutamia lisälaitteita. Tämä tarkoittaa, että tarvitaan aurinkopaneelin asennussarjan, jonka nimellishuipputeho on 625 wattia. Kaikkia laitteita ei kuitenkaan käytetä koko ajan. Oletetaan, että käytetään keskimäärin 300 wattia täsmälleen 14 tuntia päivässä. Päivittäinen energiankulutus on siten 4200 wattituntia. On epätodennäköistä, että paneeli yksin tuottaa tätä määrä energiaa jatkuvasti, koska aurinko ei välttämättä ole näkyvässä tarpeeksi kauan. Kun auringonvaloa ei ole saatavana, akku toimittaa sähköä invertterin kautta. Nyt voidaan siis laskea itse paneelin luokitus. Oletetaan, että keskimääräinen auringonpaiste on 10 tuntia aurinkoa päivässä. Paneelin keskimääräisen tehon on siis oltava $4200/10 = 420$ wattia. Tästä 300 wattia kuluu kodin sähkölaitteille ja loput akun lataamiseen. Mutta tämä on vain tehon keskiarvo.

Todellisuudessa tuotanto vaihtelee riippuen auringon ja paneelin kulmasta sekä pilvisyydestä. Jos oletamme, että keskimääräinen teho on puolet huipputehosta, niin itse aurinkopaneelin tehon on oltava $420 \times 2 = 840$ wattia. Kun otetaan huomioon invertterin tehottomuus ja muut sähköhäviöt, tarvitaan paneelin, jonka nimellisteho on 1000 wattia. Muistetaan, että kyseessä on huipputeho, mikä on käytettävissäsi vain, kun aurinko paistaa suoraan paneeliin, eli kun aurinko on kohtisuorassa paneelin pintaan nähden aurinkoisena päivänä ilman pilviä tai utua. (<http://www.halvat.org/sahko/aurinkopaneeli.html>)

2.5.7 Aurinkoenergiamarkkinat

Aurinkoenergiamarkkinat ovat yhdet maailman nopeimmin kasvavista teknologiamarkkinoista. Edelläkävijämaiden politiikan vauhdittamien maailmanmarkkinoiden nopea kasvu on näkynyt myös kustannustason laskuna. Viimeisen viiden vuoden aikana aurinkosähköpaneelien hinta on tippunut 60 - 75 prosenttia. Suomi on vuositasolla lähes Saksaan verrattavissa oleva maa aurinkoenergian tuotantopotentiaalissa. Suomessa verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä on tällä hetkellä kuitenkin vain noin neljä megawattia. Saksassa kapasiteetti on lähes 10 000-kertainen. Aurinkosähkön lisäksi Suomessa on hyvät mahdollisuudet tuottaa lämpöä tai jäädytystä aurinkokeräimillä.

Suomessa tehdään maailmankin mittaluokassa merkittäviä aurinkoenergiainnovaatioita ja meillä on paljon alalla toimivia yrityksiä ja tutkimusryhmiä. Alan liiketoiminnan kasvu ja yritysten vientiponnistelujen onnistuminen edellyttävät myös toimivia kotimarkkinoita. Lisäksi aurinkoenergia on merkittävä mahdollisuus työllisyystilanteen parantamiseen, koska aurinkoenergialaitteiden asentaminen työllistää merkittävästi. Suomessa politiikka ei kuitenkaan ole tähän mennessä juuri kannustanut kotitalouksia aurinkoenergiainvestointeihin. (<http://www.halvat.org/sahko/aurinkopaneeli.html>)

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Tutkimuksen kohteet

Kalajoki

Omakotitalo (147 m²) Kalajoella sijaitsee otollisella paikalla aurinkoenergian hyödyntämisen kannalta. Talon ympärillä ei sijaitse varjostavia tekijöitä, kuten puita ja korkeita rakennuksia, muuta kuin pohjoisilla suunnilla. Suunnitelluilla energiantuotantopinnoilla ei esiinny varjostusta auringon säteilyn osuessa niihin. Suunniteltu asennuspinta sijaitsee autokatoksen eteläisellä puolella, jonka suuntima on 205°. Katon kallistuskulma on 26,5° ja pinta-ala n. 40 m². Autokatoksen etäisyys sähköpääkeskuksesta on n. 10 m. Talo on suorasähkölämmitteinen, jonka vuotuinen sähkön kulutus on n. 20 000 kWh vuodessa. Kulutuksesta 40 % tapahtuu yösähköllä ja 60 % päiväsaikana. Kesällä (touko-elokuu), jolloin myös tuotanto on korkeimmillaan, keskimääräinen päiväkulutus on 600–700 kWh:a kuukaudessa.

Muurame

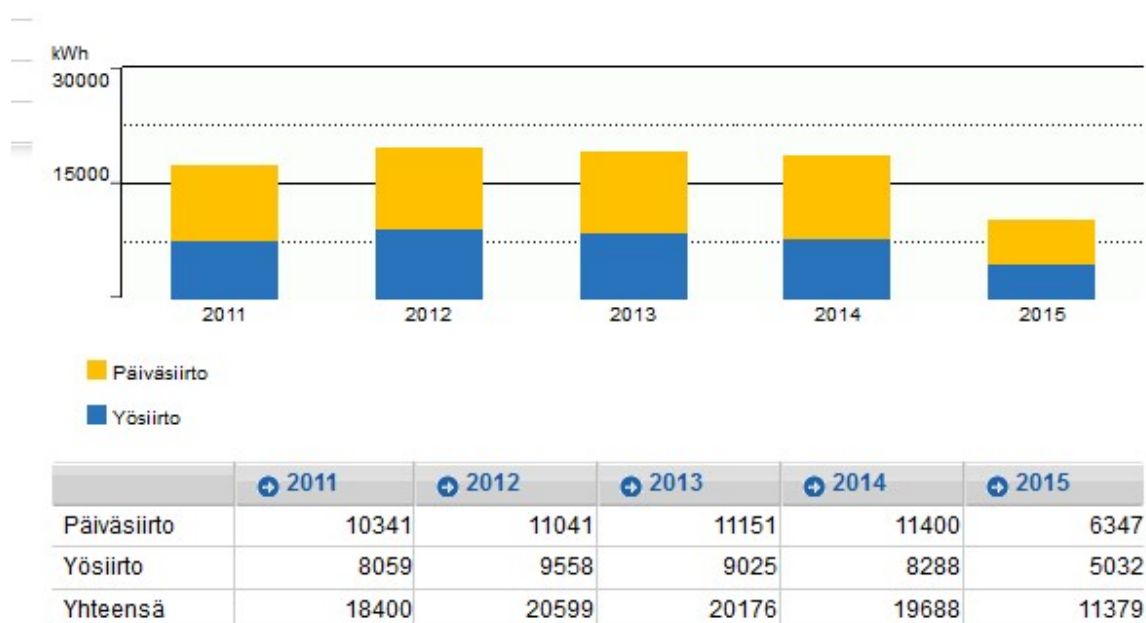
Kaksikerroksinen rivitalohuoneisto (149 m²) sijaitsee, kuten Kalajoen kohde, varjottomalla paikalla. Suunniteltu asennuspinta sijaitsee talon eteläisellä puolella, jonka suuntima on 195°. Katon kallistuskulma on 18,4° ja pinta-ala n. 40 m². Talo on suorasähkölämmitteinen, jonka vuotuinen energiankulutus on n. 10 000 kWh vuodessa. Kulutuksesta 55 % tapahtuu yösähköllä ja 45 % päiväsaikana. Kesällä (touko-elokuu), jolloin myös tuotanto on korkeimmillaan, keskimääräinen päiväkulutus on 500–600 kWh:a kuukaudessa.

3.2 Kohteiden sähkön kulutus

Kohteiden sähkönkulutustiedot perustuvat sähkönmyyjien todellisiin kulutustietoihin molemmissa kohteissa.

Kalajoki

Kalajoen kohteen vuotuinen sähkönkulutus on n. 20 000 kWh (KUVIO 9). Kulutuksesta suurin osa menee lämmitykseen ja näin ollen kulutus on huomattavasti suurempaa talvella. Kulutus vaihtelee kuukausitasolla talvikuukausien n. 2 400 kWh:sta kesäkuukausien n. 650 kWh:iin. Kesällä päiväsiirron osuus kuukausitasolla on noin puolet koko sähköstä eli n. 350 kWh (TAULUKKO 1).



KUVIO 9. Kalajoen kohteen sähkön vuosikulutus (Vattenfall)

TAULUKKO 1. Kalajoen kohteen sähkön kuukausikulutus (Vattenfall)

Luentapäivä	Tuote	Luentaväli (pv)	Lukema	Käyttö	Yhteensä
31.12.2014	Päiväenergia	31	81709	1421	
31.12.2014	Yöenergia	31	66792	961	2382 kWh
30.11.2014	Päiväenergia	30	80288	1195	
30.11.2014	Yöenergia	30	65831	796	1991 kWh
31.10.2014	Päiväenergia	31	79093	966	
31.10.2014	Yöenergia	31	65035	617	1583 kWh
30.09.2014	Päiväenergia	30	78127	642	
30.09.2014	Yöenergia	30	64418	481	1123 kWh
31.08.2014	Päiväenergia	31	77485	308	
31.08.2014	Yöenergia	31	63937	338	646 kWh
31.07.2014	Päiväenergia	31	77177	354	
31.07.2014	Yöenergia	31	63599	368	722 kWh
30.06.2014	Päiväenergia	61	76823	1422	
30.06.2014	Yöenergia	61	63231	1268	2690 kWh
30.04.2014	Päiväenergia	61	75401	2154	
30.04.2014	Yöenergia	61	61963	1538	3692 kWh
28.02.2014	Päiväenergia	59	73247	2938	
28.02.2014	Yöenergia	59	60425	1921	4859 kWh
Yhteensä					19688 kWh

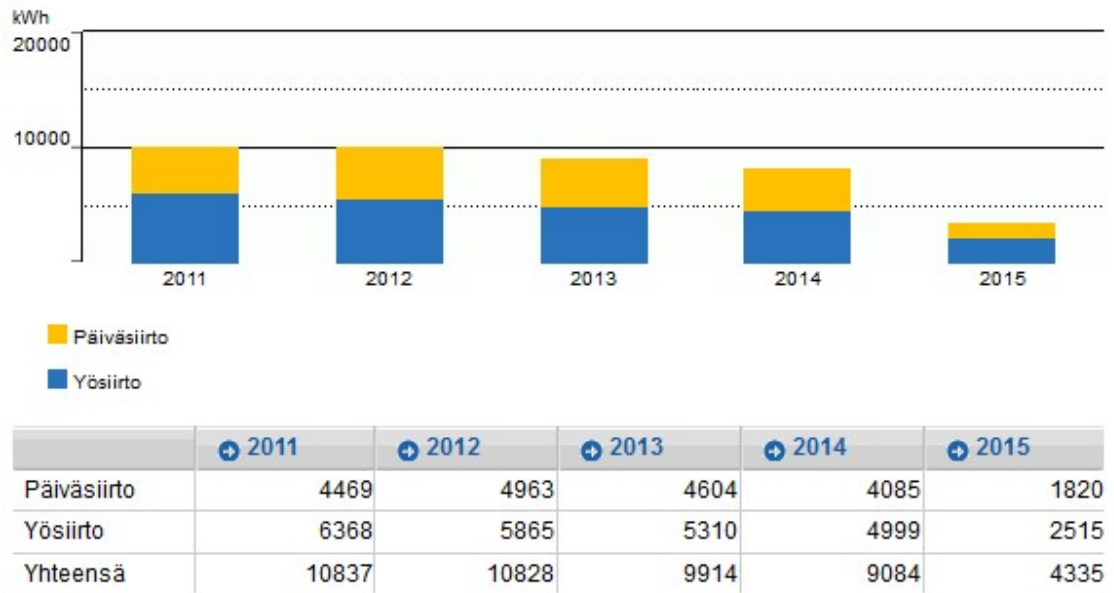
TAULUKKO 2. Kalajoen kohteen sähkön päiväkulutus heinäkuussa (Vattenfall)

ke 15.7.2015	Sähkön käyttö (kWh)	Tuote	°C
00:00 - 01:00	9,13	Energia	4,4
01:00 - 02:00	6,56	Energia	4
02:00 - 03:00	1,17	Energia	4,6
03:00 - 04:00	1,55	Energia	6,4
04:00 - 05:00	0,51	Energia	7,3
05:00 - 06:00	0,44	Energia	8,6
06:00 - 07:00	0,41	Energia	10,9
07:00 - 08:00	0,40	Energia	12,7
08:00 - 09:00	0,45	Energia	13
09:00 - 10:00	0,54	Energia	13,3
10:00 - 11:00	0,54	Energia	14
11:00 - 12:00	1,97	Energia	13,6
12:00 - 13:00	0,53	Energia	14,2
13:00 - 14:00	1,14	Energia	15
14:00 - 15:00	0,45	Energia	15,6
15:00 - 16:00	0,53	Energia	15,8
16:00 - 17:00	0,47	Energia	16,6
17:00 - 18:00	0,94	Energia	15,8
18:00 - 19:00	1,14	Energia	15,6
19:00 - 20:00	1,68	Energia	15,2
20:00 - 21:00	1,05	Energia	12,4
21:00 - 22:00	4,97	Energia	10,5
22:00 - 23:00	7,70	Energia	9
23:00 - 00:00	5,66	Energia	8

Muurame

Muuramen kohteen vuotuinen sähkönkulutus on n. 10 000 kWh (KUVIO 10). Myös tässä kohteessa suuri osa sähkönkulutuksesta menee lämmitykseen, mutta suhteellinen osuus on Kalajoen kohteeseen verrattuna paljon pienempi, johtuen polttopuun käytöstä. Kulutus vaihtelee kuukausitasolla talvikuukausien n. 1100 kWh:sta kesäkuukausien n. 600 kWh:iin

(TAULUKKO 3). Kesällä päiväsähkön osuus kuukausitasolla on noin vajaat koko sähköstä eli n. 300 kWh.



KUVIO 10. Muuramen kohteen sähkön vuosikulutus (Vattenfall)

TAULUKKO 3. Muuramen kohteen sähkön kuukausikulutus (Vattenfall)

Luentapäivä	Tuote	Luentaväli (pv)	Lukema	Käyttö	Yhteensä
31.12.2014	Päiväenergia	31	50026	415	
31.12.2014	Yöenergia	31	79286	493	908 kWh
30.11.2014	Päiväenergia	30	49611	380	
30.11.2014	Yöenergia	30	78793	421	801 kWh
31.10.2014	Päiväenergia	31	49231	356	
31.10.2014	Yöenergia	31	78372	384	740 kWh
30.09.2014	Päiväenergia	30	48875	300	
30.09.2014	Yöenergia	30	77988	337	637 kWh
31.08.2014	Päiväenergia	31	48575	272	
31.08.2014	Yöenergia	31	77651	319	591 kWh
31.07.2014	Päiväenergia	31	48303	247	
31.07.2014	Yöenergia	31	77332	293	540 kWh
30.06.2014	Päiväenergia	30	48056	275	
30.06.2014	Yöenergia	30	77039	341	616 kWh
31.05.2014	Päiväenergia	31	47781	309	
31.05.2014	Yöenergia	31	76698	382	691 kWh
30.04.2014	Päiväenergia	30	47472	331	
30.04.2014	Yöenergia	30	76316	423	754 kWh
31.03.2014	Päiväenergia	31	47141	334	
31.03.2014	Yöenergia	31	75893	511	845 kWh
28.02.2014	Päiväenergia	28	46807	365	
28.02.2014	Yöenergia	28	75382	474	839 kWh
31.01.2014	Päiväenergia	31	46442	501	
31.01.2014	Yöenergia	31	74908	621	1122 kWh
Yhteensä					9084 kWh

TAULUKKO 4. Muuramen kohteen sähkön päiväkulutus heinäkuussa (Vattenfall)

ti 15.7.2014	Sähkön käyttö (kWh)	Tuote	°C
00:00 - 01:00	2,02	Energia	17,7
01:00 - 02:00	0,53	Energia	16,7
02:00 - 03:00	0,51	Energia	16,5
03:00 - 04:00	0,43	Energia	15,4
04:00 - 05:00	0,42	Energia	15,3
05:00 - 06:00	0,42	Energia	15,5
06:00 - 07:00	0,32	Energia	17,5
07:00 - 08:00	0,48	Energia	19,1
08:00 - 09:00	0,59	Energia	20,1
09:00 - 10:00	0,43	Energia	21,3
10:00 - 11:00	0,35	Energia	
11:00 - 12:00	0,33	Energia	
12:00 - 13:00	1,08	Energia	
13:00 - 14:00	1,34	Energia	
14:00 - 15:00	0,49	Energia	
15:00 - 16:00	0,46	Energia	
16:00 - 17:00	0,34	Energia	
17:00 - 18:00	0,32	Energia	
18:00 - 19:00	0,32	Energia	
19:00 - 20:00	0,33	Energia	
20:00 - 21:00	1,05	Energia	18,5
21:00 - 22:00	2,67	Energia	17,7
22:00 - 23:00	0,41	Energia	16,7
23:00 - 00:00	3,54	Energia	15,6

3.3 Voimalan ja voimalakoon valinta

Voimalatyypit Kalajoen ja Muuramen kohteisiin valittiin budjetin ja kulutuksen mukaan. Talouksien voimalaan käytettävissä oleva mahdollinen rahasumma katsottiin olevan n. 7000 €,

jolloin rahoitus on mahdollista toteuttaa omalla pääomalla ottamatta suhteellisen kalliita rahoitusjärjestelmiä mukaan.

Aurinkopaneelijärjestelmän hinta muodostui Kalajoen kohteessa laitteistosta (5000 €), sekä asennuksesta (2000 €). Kuluista vähennettiin kotitalousvähennys tehdystä työstä (-45 % + 100 €). Kustannukset olivat yhteensä 6200 €. Vastaavasti Muuramen kohteessa laitteisto maksoi 5000 €. Koska asennus tehtiin itse, työkustannukseksi jäivät vain sähkötyöt (500 €). Kotitalousvähennys tehdystä työstä oli 125 €, jolloin kokonaiskustannukset olivat yhteensä 5375 €.

Voimalan koko laskettiin heinäkuun maksimitehon tarpeen mukaan, sillä heinäkuussa kohteiden energian kulutus on pienin. Laskennallisesti suurin hyötysuhde voimalalle tulee, kun tuotto voidaan käyttää mahdollisimman tehokkaasti itse. Tällöin kWh:n hinnaksi tulee n. 12 -15 snt/kWh, mikä muodostuu pienkuluttajan maksamasta energiahinnasta. Pienvoimaloiden verkkoon syöttämä energiahinta määräytyy sopimuskohtaisesti energiayhtiöistä riippuen, mutta nyrkkisääntönä kWh:n hinta muodostuu pörssihinnasta, josta vähennetään jakeluverkon siirtomaksu, jonka ylärajan suuruus on 0,07 snt/kWh. Näin ylijäämäsähkön hinnaksi muodostuu tämän päivän hintatason mukaan alle 3 snt/kWh:lta. Tämä hintataso on niin alhainen, että se vain pidentää voimalan takaisinmaksuaikaa, varsinkin, jos voimala on suuresti ylimitoitettu.

Kulutus vuositasolla näissä kahdessa kohteessa on erilainen, mutta kesällä kulutukset kuukausitasolla ovat lähes identtiset (TAULUKKO 1) (TAULUKKO 3).

3.4 Aurinkopaneelijärjestelmien valinta

Molempiin kohteisiin valittiin monikiteinen aurinkopaneeli kolmivaiheisella invertterillä, jonka keskimääräiseksi hinnaksi asennettuna tuli 7000 €. Muuramen kohteessa asennus suoritetaan itse lukuun ottamatta sähkötyitä. Näin saatiin kaksi erilaista toimitustapaa. Tutkimuksessa ei saatu lupaa aurinkopaneelijärjestelmien myyjiltä kertoa tarkkoja hinta- tai tuotetietoja, joten laskennassa hintatiedot ovat keskimääräisiä ja tulokset vain suuntaa antavia.

3.5 Laskentamenetelmät

Laskennassa käytän PVGIS-ohjelmaa, sähköyhtiöiltä saatuja kulutustietoja, keskimääräisiä voimalahintoja, jotka on laskettu 6:lta eri yhtiöltä saatuihin tarjouksiin, sekä sähkön kuluttajahintoja. Laskennallinen arvo ei vastaa täydellisesti todellisuutta, mutta talouksien tehdessä päätöksiä suunnitellessaan itselleen aurinkopaneelijärjestelmää, ne tekevät päätöksensä vastaavilla laskemilla.

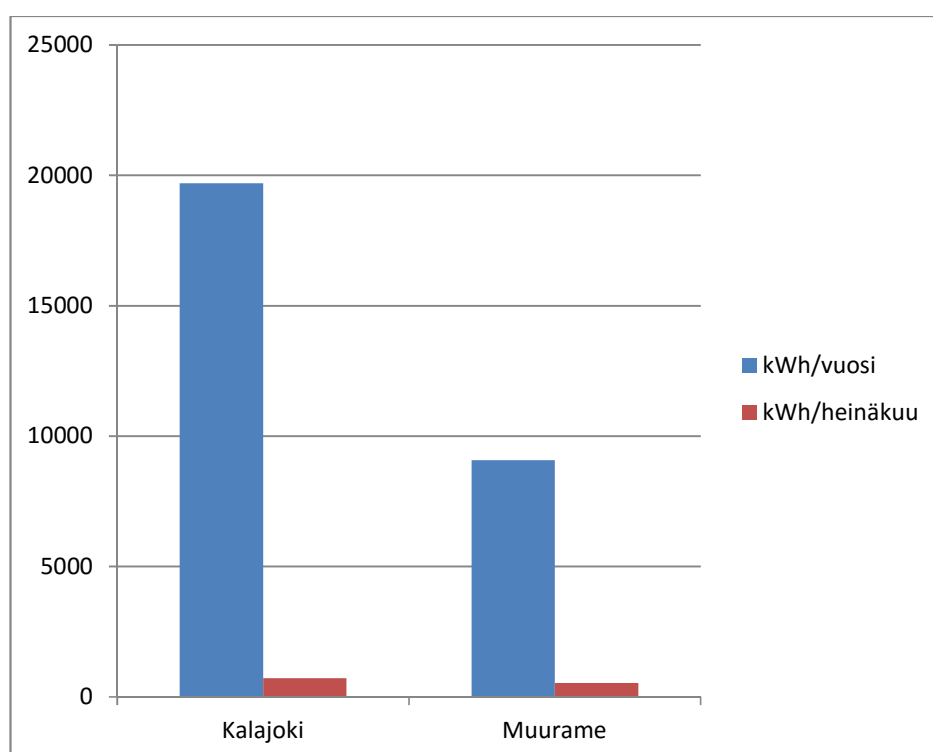
3.6 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on aika, jona investointi 'maksaa' hintansa takaisin eli nettotuottoja kertyy perushankintamenon verran. On olemassa monenlaisia tapoja ottaa eri tekijöitä huomioon takaisinmaksua laskettaessa.

Tämän tutkimuksen takaisinmaksuajan laskennassa on useita muuttuvia tekijöitä, kuten sähkön hinta, joka on vaikeasti ennustettavissa. Vuonna 2015 energiahinnat ovat maailmanlaajuisesti alhaalla, mikä on vaikuttanut myös siihen, että sähkön pörssihinta on alimmillaan moniin vuosiin. On vaikea arvioida sähkönhinnan muodostumista tulevaisuudessa, mutta tässä tutkimuksessa on päädytty käyttämään yleisesti käytettyä 6 % vuotuista hinnan nousua sähkölle. Myös energiapoliittisilla päätöksillä on suuri vaikutus takaisinmaksuun. Näillä on todennäköisesti takaisinmaksu aikaan lyhentävä vaikutus, mutta ennustettavuus on mahdotonta, niiden vaikutuksia ei huomioida näissä laskelmissa.

4. TULOKSET

Kalajoen ja Muuramen kohteiden todellinen sähkönkulutus poikkesi toisistaan merkittävästi vuositasolla. Muuramen kohteen sähkönkulutus oli lähes 50 % alhaisempi kuin Kalajoen kohteen. Heinäkuussa kulutus oli kuitenkin lähes samalla tasolla (KUVIO 11).



KUVIO 11. Kalajoen ja Muuramen kohteiden toteutunut sähkönkulutus (kWh) vuositasolla sekä heinäkuussa.

4.1 Aurinkovoimalan tuotto

Aurinkovoimalan tuotto selvitettiin kahdella eri tekniikalla. Ensimmäisessä mallissa laskettiin tuotto silloin, kun aurinkopaneelit oli asennettu suoraan katon kulman mukaisesti. Toisessa menetelmässä aurinkopaneelien asennuskulma oli optimoitu vertikaalisesti auringon

tulokulmaan nähden. Tämä korjaus on helposti tehtävissä asennusvaiheessa, sillä osa järjestelmistä sisältää säädettävän asennustelineen.

Kalajoki

Kalajoen kohteen aurinkovoimalan tuotto vaihteli 2340 kWh/v - 2430 kWh/v (TAULUKKO 5) (TAULUKKO 6). Optimoinnilla saavutettiin 90 kWh vuodessa, mikä on 4 % enemmän kuin suoraan kattoon asennetussa järjestelmässä. Aurinkopaneelien tuotto Kalajoella oli noin 10 % talouden vuosittaisesta sähkönkulutuksesta.

TAULUKKO 5. Kalajoen aurinkopaneelien tuotto asennettuna suoraan katon kulman mukaisesti (PVGIS-classic)

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 3.0 kW (CIS)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 8.2% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.6%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 23.9%

Fixed system: inclination=26°, orientation=25°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.08	33.6	0.43	13.4
Feb	3.46	96.9	1.38	38.7
Mar	6.36	197	2.60	80.6
Apr	10.50	315	4.49	135
May	12.30	382	5.46	169
Jun	12.60	379	5.75	172
Jul	11.70	363	5.39	167
Aug	8.74	271	3.95	123
Sep	5.62	168	2.45	73.4
Oct	2.86	88.6	1.20	37.3
Nov	1.01	30.4	0.42	12.5
Dec	0.52	16.1	0.21	6.55
Yearly average	6.41	195	2.82	85.7
Total for year	2340		1030	

E_d = Järjestelmän keskimääräinen aurinkosähkön päivätuotanto (kWh).

E_m = Järjestelmän keskimääräinen aurinkosähkön kuukausituotanto (kWh).

H_d = Järjestelmän keskimääräinen päivittäin vastaanotettu säteily neliometriä kohden (kWh/m^2).

H_m = Järjestelmän keskimääräinen kuukausittain vastaanotettu säteily neliometriä kohden (kWh/m^2).

TAULUKKO 6. Kalajoen aurinkopaneelien tuotto asennettuna 45° kulmaan (PVGIS-classic)

Nominal power of the PV system: 3.0 kW (CIS)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 9.0% (using local ambient temperature)

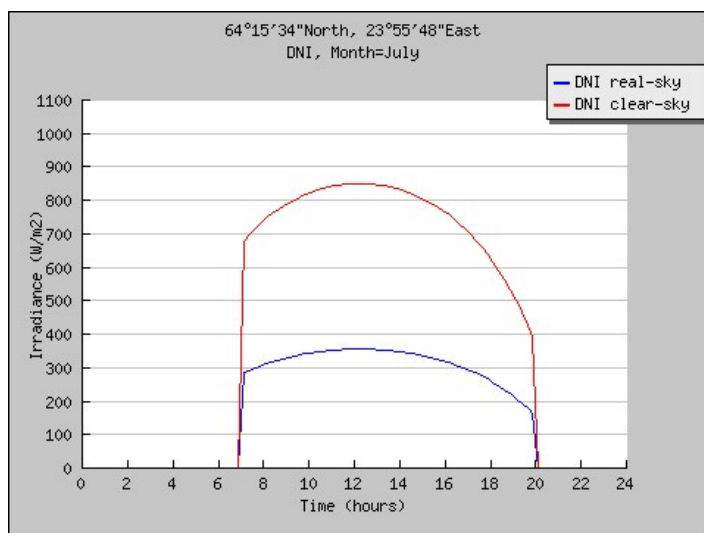
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 24.1%

Fixed system: inclination= 45° , orientation= 25°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.57	48.8	0.61	18.9
Feb	4.42	124	1.76	49.4
Mar	7.17	222	2.96	91.9
Apr	11.00	329	4.74	142
May	12.10	376	5.42	168
Jun	12.10	362	5.53	166
Jul	11.30	350	5.25	163
Aug	8.73	271	3.99	124
Sep	6.00	180	2.63	78.8
Oct	3.34	104	1.41	43.6
Nov	1.33	40.0	0.54	16.2
Dec	0.79	24.6	0.31	9.54
Yearly average	6.66	203	2.93	89.2
Total for year		2430		1070

Auringonsäteily ajallisesti osuu Kalajoen kohteessa paneeliin lähes täysin päiväsähkön eli klo 7.00 – 22.00 välisenä aikana (KUVIO 12).



KUVIO 12. Kalajoen keskimääräinen säteily määrä heinäkuu (PVGIS). Punainen käyrä esittää optimaalisen säteilyn ja sininen todellisen säteilyn Kalajoen kohteessa.

Muurame

Muuramen kohteen aurinkovoimalan tuotto vaihteli 2260 kWh/v - 2400 kWh/v välillä (TAULUKKO 7), (TAULUKKO 8). Paneelien asento optimoitiin 42° kulmaan. Optimoinnin ansiosta tuotto kasvoi vuositason 140 kWh, mikä on 6 % enemmän kuin suoraan kattoon asennetussa järjestelmässä. Aurinkopaneelien tuotto oli noin 26 % talouden vuosittaisesta sähkönkulutuksesta.

TAULUKKO 7. Muuramen aurinkopaneelien tuotto asennettuna suoraan katon kulman mukaisesti (PVGIS-classic)

Nominal power of the PV system: 3.0 kW (CIS)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 8.3% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.9%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 24.2%

Fixed system: inclination=18°, orientation=15°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.87	26.8	0.35	10.8
Feb	3.38	94.5	1.36	38.1
Mar	6.01	186	2.47	76.6
Apr	9.93	298	4.26	128
May	12.20	377	5.42	168
Jun	12.10	362	5.50	165
Jul	11.70	363	5.41	168
Aug	8.59	266	3.89	121
Sep	5.43	163	2.37	71.2
Oct	2.67	82.8	1.13	35.1
Nov	0.89	26.8	0.37	11.2
Dec	0.42	12.9	0.17	5.33
Yearly average	6.19	188	2.73	83.1
Total for year		2260		997

E_d = Järjestelmän keskimääräinen aurinkosähkön päivätuotanto (kWh).

E_m = Järjestelmän keskimääräinen aurinkosähkön kuukausituotanto (kWh).

H_d = Järjestelmän keskimääräinen päivittäin vastaanotettu säteily neliömetriä kohden (kWh/m²).

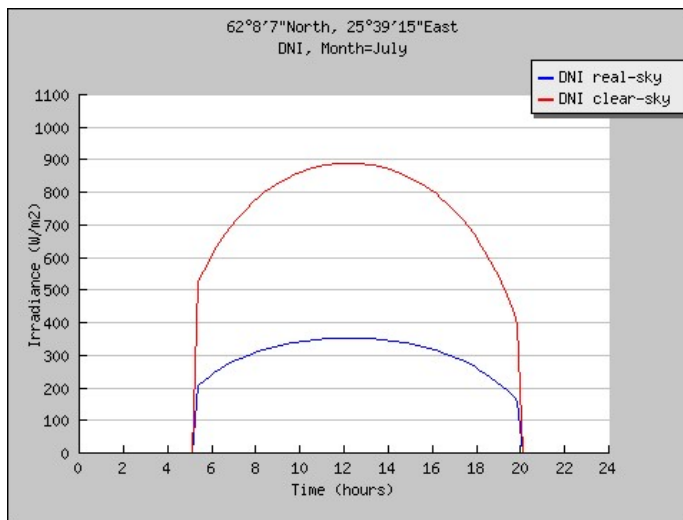
H_m = Järjestelmän keskimääräinen kuukausittain vastaanotettu säteily neliömetriä kohden (kWh/m²).

TAULUKKO 8. Muuramen aurinkopaneelien tuotto asennettuna 45°:kulmaan (PVGIS-classic)

Nominal power of the PV system: 3.0 kW (CIS)
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 9.5% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.1%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 24.6%

Fixed system: inclination=42°, orientation=15° (Optimum at given orientation)				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.34	41.5	0.52	16.1
Feb	4.79	134	1.91	53.5
Mar	7.16	222	2.97	92.2
Apr	10.60	319	4.64	139
May	12.00	373	5.44	169
Jun	11.50	345	5.31	159
Jul	11.30	351	5.31	165
Aug	8.69	269	3.99	124
Sep	6.02	181	2.64	79.3
Oct	3.30	102	1.39	43.0
Nov	1.23	36.9	0.50	14.9
Dec	0.66	20.6	0.26	8.07
Yearly average	6.56	200	2.91	88.6
Total for year		2400		1060

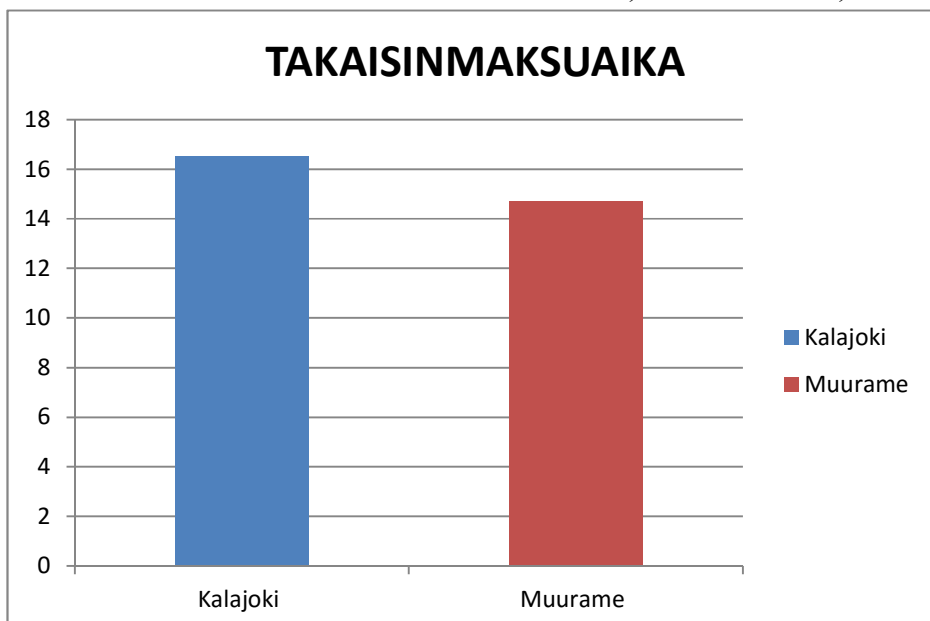
Muuramen kohteessa auringon säteilystä paneeleihin n. 2 tuntia aamusta osuu yösähkön ajalle heinäkuun tilastojen mukaan (KUVIO 13). Tällä on kuitenkin vain pieni merkitys koko vuoden tuotannon osalta.



KUVIO 13. Muuramen säteily määrä heinäkuussa (PVGIS-classic)

4.2. Takaisinmaksu kohteisiin

Takaisinmaksuaika kohteissa vaihteli noin 14,7 vuodesta 16,5 vuoteen (KUVIO 14).



KUVIO 14. Takaisinmaksuaika kohteissa

4.2.1 Tulokset Kalajoki

Kalajoen sähkönkulutus vuositasona oli 19 688 kWh. Paras aurinkopaneelien energiatuotanto saavutettiin asettamalla paneelit 45 kulmaan, jolloin tuotto oli noin 2400 kWh/ vuodessa. Tämä vastasi 12 % koko vuoden kulutuksesta. Paneelien tuotto laskee ajan myötä, mutta samalla myös energian hinta todennäköisesti nousee. Voimalan kokonaiskustannukset 6200 € Rahamääräisesti tuotto saavuttaa investoinnin 16,5 vuoden kuluttua hankinnasta (TAULUKKO 9).

4.2.2 Tulokset Muurame

Muuramen sähkönkulutus vuositasona on 9084 kWh. Paneelit asetettiin 42° kulmaan. Tuotto vuositasona oli noin 2400 kWh eli käytännössä sama kuin Kalajoella. Tämä vastaa 26 % koko vuoden kulutuksesta. Rahamääräisesti säästö on sama kuin Kalajoen kohteessa, mutta investointi on halvempi, koska järjestelmä asennettiin itse. Voimalan kokonaiskustannukset 5375 €. Näin ollen Muuramen kohteessa tuotto saavuttaa investoinnin 14,7 vuoden kuluttua (TAULUKKO 9).

TAULUKKO 9. Takaisinmaksutaulukko

Vuosi	Sähkön myyntih. snt/kWh	Sähkövero snt/kWh	Sähkönsiirto snt/kWh	Sähkön kokonaishinta snt/kWh	Sähkön tuotto kWh	Säästö €/vuosi	Säästökertymä €
1	6,06	2,79	2,78	11,63	2430,00	282,70	282,70
2	6,81	2,79	2,86	12,46	2413,45	300,74	583,44
3	7,22	2,79	2,90	12,91	2396,90	309,43	892,87
4	7,65	2,79	2,94	13,38	2380,35	318,57	1211,44
5	8,11	2,79	2,98	13,88	2363,80	328,18	1539,62
6	8,60	2,79	3,02	14,41	2347,25	338,28	1877,90
7	9,11	2,79	3,06	14,97	2330,70	348,90	2226,81
8	9,66	2,79	3,11	15,56	2314,15	360,07	2586,88
9	10,24	2,79	3,15	16,18	2297,60	371,81	2958,69
10	10,85	2,79	3,19	16,84	2281,05	384,15	3342,83
11	11,50	2,79	3,24	17,54	2264,50	397,12	3739,96
12	12,19	2,79	3,28	18,27	2247,95	410,75	4150,71
13	12,93	2,79	3,33	19,05	2231,40	425,08	4575,79
14	13,70	2,79	3,38	19,87	2214,85	440,14	5015,93
15	14,52	2,79	3,42	20,74	2198,30	455,96	5471,89
16	15,39	2,79	3,47	21,66	2181,75	472,59	5944,47
17	16,32	2,79	3,52	22,63	2165,20	490,05	6434,53
18	17,30	2,79	3,57	23,66	2148,65	508,40	6942,93
19	18,34	2,79	3,62	24,75	2132,10	527,68	7470,61
20	19,44	2,79	3,67	25,90	2115,55	547,93	8018,54
21	20,60	2,79	3,72	27,12	2099,00	569,20	8587,74
22	21,84	2,79	3,77	28,41	2082,45	591,54	9179,28

Sähkön myyntihinta = Nykyisen sopimuksen hintaan laskettu 6 % vuotuinen korotus.

Sähkövero = Vuoden 2015 taso.

Sähkönsiirto = Siirtoon laskettu indeksikorotus 1,4 %/vuosi.

Sähkön tuotto = Vuosittainen laskennallinen tuotto. Arviodusta tuotosta on laskettu lineaarisesti tuoton vähennys 85 % asti. Valmistajan antama tuottotakuu 20 vuoden kuluttua.

Säästö = Säästö vuosittain.

Säästökertymä = Saadut säästöt yhteensä.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkimuskohteet sijaitsivat Kalajoella ja Muuramessa eli vain noin 130 km etäisyydellä toisistaan pohjois-eteläsuunnassa. Näin ollen erot auringon säteilymäärissä jäivät vähäisiksi. Tulosten kannalta olisi voinut olla mielekkäämpää valita kohteet suuremmalla hajonnalla pohjois-eteläsuunnassa.

Talokohteet olivat kuitenkin hyvät sen osalta, että sähkön kulutus oli huomattavan erilaista, mutta kuitenkin kesä aikana kulutus oli samalla tasolla, mikä mahdollisti saman tehoisten voimaloiden valinnan. Näin ollen tulosten vertailu oli helppoa. Lisäksi molempien kohteiden varjostusolosuhteet olivat edulliset aurinkoenergian talteenoton suhteen.

Käytettyjen paneelien valinta kohdistui monikiteiseen paneelijärjestelmään lähinnä hankintahinnan vuoksi, sillä nämä ovat edullisempia kuin esimerkiksi yksikiteiset paneelit ja lisäksi tarjonta oli laajempaa. Monikiteisen paneelin etuna on myös sen parempi kyky tuottaa sähköä, jos paneelin pinnalle kertyy epäpuhtauksia, kuten syksyllä puista irtoavat lehdet. Muiden järjestelmien kohdalla myös hinnat ovat vielä suhteellisen korkeita.

Voimalan kooksi valittiin 3 kWp aurinkovoimala, jolloin kulut olivat 6000-7000 € ilman kotitalousvähennystä. Voimalan kokoa nostettaessa suhteellinen hinta per tuotettu kWh laskee, jos kasvanut tuotanto voidaan käyttää itse. 4 kWp voimala maksaa n. 8200 €. Valmistajat lupaavat 3 kWp:n voimalalle 2800 kWh:n vuotuisen tuoton ja vastaavasti 4 kWh:n voimalalle 3700 kWh tuoton. Jaettaessa voimalan hinta vuotuisella tuotolla saadaan tuotetun kWh:n hinnaksi yhden vuoden aikana 3 kWp:n voimalalle 2,5 €/kWh ja 4 kWp:n voimalalle 2,21 €/kWh. Hinnassa on siis yli 10 prosentin ero suuremman voimalan hyväksi. Jos talouksissa voitaisiin ohjata sähkön käyttöä siten, että voimalan kokoa voidaan kasvattaa ilman, että ylimääräistä tuotantoa tarvitsee syöttää verkkoon, saataisiin etua takaisinmaksuaikaan. Tutkimuksen kohteissa tämä voisi tapahtua esimerkiksi siirtämällä lämmitystä päiväsaikojen puolelle ja kodinkoneiden, kuten pesukoneiden käytön keskittämistä aurinkoisille päville. Muutoinkin joustavalla energian kulutuksella olisi merkitystä, sillä aurinkopaneelien avulla ja järjestelmällisellä kulutuksen kohdennuksella aurinkopaneelien huipputuotannon ajoille on mahdollista pienentää energiakulutushuippuja yleisessä verkossa. Näillä huipuilla on

merkitystä sähkön tuntihintoihin sähköpörssissä, mikä vaikuttaa yleisesti kustannusten nousuun sähkön käytössä.

Laskentametodien toimivuutta on vaikea todentaa, sillä käytettävissä ei ollut todellisia aurinkopaneelien tuottolukuja. Tavoitteena oli kuitenkin arvioida aurinkopaneelien kannattavuutta yksityisen kuluttajan kannalta ja mahdollisesti helpottaa päätöksen tekoa mahdollisen aurinkoenergiainvestoinnin osalta. Näihin tutkimuksen laskelmilla päästiin tyydyttävästi. Vastaavia laskentaohjelmia löytyi internetistä, mutta ne olivat lähinnä myyjien julkaisemia, eikä niissä ollut saatavilla perusteita laskentatuloksiin, mikä olisi ollut mielenkiintoista vertailumateriaalia.

Laskennalliset tuotot molemmissa kohteissa olivat melko hyvät. Säästö ostosähkön kulutuksen suhteen Muuramen kohteessa oli peräti 26 % johtuen kohteen alhaisemmasta sähkön kokonaiskulutuksesta. Kalajoella vuotuinen säästö oli reilut 12 % sähkönkulutuksesta.

Takaisinmaksuajoissa on huomioitavaa, että tulokset olivat 10–30 % heikompia, mitä toimittajat lupaavat. Silti saadut tulokset takaisinmaksuajassa olivat yllättävän positiivia ja aurinkosähkö on varteen otettava investointikohde varsinkin tulevaisuudessa. On myös huomioitava että euromääräisten hyötyjen lisäksi aurinkoenergiaan liittyy aineettomia arvoja, joiden merkitystä ei voida väheksyä. Aurinkovoimalalla on myös joissain tapauksissa vaikutusta asunnoilta nykyään vaadittaviin energiatodistuksiin, sillä käytetyn ostosähkön määrä on yksi tekijä energiatodistuksen määrittämisessä.

Aurinkopaneelien yleistyessä on oletettavaa, että hinnat tulevat alas, mikä tietysti ennestään nostaa paneelien kannattavuutta investoinnin kannalta. Aurinkopaneelien hyöty nousee yhteiskäytössä esimerkiksi ilmapumppujen käytössä. Aurinkoisina päivinä talojen tai huoneistojen viilentämisen tarve on suurimmillaan ja myös aurinkopaneelien tuotto. Näin ollen aurinkopaneelien tuotolla voidaan kattaa ilmalämpöpumppujen viilentämiseen tarvitsema sähkö, mikä nostaa lämpöpumpun tuomaa taloudellista etua.

Tekniikka myös kehittyy koko ajan ja näin ollen paneelien hyötysuhde on nousussa. Piikunnoissa teoreettinen maksimaalinen hyötysuhde on n. 30 prosenttia ja kaupallisten

versioiden vastaava on tällä hetkellä tästä noin puolet. Aalto-yliopistossa tehdyissä laboratorioskokeissa päästiin juuri 22 prosenttiin, mutta näiden kennojen oletetaan olevan aikaisintaan viiden vuoden kuluttua kaupallisessa tuotannossa (Helsingin Sanomat 21.7.2015). Suhteellisen alhaiset hyötysuhteet piikenneissa johtuvat siitä, että kennot voivat käyttää hyväkseen sähköntuotannossa vain suhteellisen pientä aluetta auringonvalon aallonpituuksista.

Aurinkovoimaloiden takaisinmaksuaikaan vaikuttaa tulevaisuudessa merkittävästi valtion tekemät energiapoliittiset päätökset ja sähkön hinta. On odotettavissa, että molemmat tulevat vaikuttamaan positiivisesti aurinkopaneeleita harkitseville.

Suomalaisesta energiapolitiikasta voimme ottaa esimerkiksi tuulivoimalle myönnetty korotettu hintatakuu, mikä oli 105,30 €/tuotettu MWh vuonna 2014. Tällä hetkellä tuo hinta on yli 70 € korkeampi kuin sähkön pörssihinta. Jos edes osa tästä tuesta sen vapautuessa tulevaisuudessa ”korvamerkittäisiin” aurinkosähköön, sillä tulisi olemaan merkittävä vaikutus aurinkosähkön kannattavuuteen Suomessa.

Kotitalouksien ja maatalouden sähkönkulutus Suomessa vuonna 2013 oli 23 TWh. Teoriassa pelkästään tällä sektorilla aurinkopaneeleilla olisi helposti Suomen oloissa saavutettavissa 10 %:n tuotto tästä määrästä eli 2,3 TWh. Tämä lähes vastaa vuosittaista siirto- ja jakeluhäviötä Suomessa, mikä on 2,6 TWh eli 3 % koko vuoden Suomen sähkönkulutuksesta. Aurinkopaneelien tuotto kohdistuu suurimmalta osalta huhti-syyskuun väliselle ajalle, jolloin myös suoritetaan vuosittaiset suurten voimalaitosten huoltotyöt, mitkä nostavat merkittävästi sähkön Suomen aluehintaa. Tällöin aurinkosähköllä olisi puskurivaikutus sähkön aluehinnan nousulle, joka osaltaan tukisi aurinkosähkön kannattavuutta.

Työllistävän vaikutuksen näkökulmasta tarkasteltaessa voimme vertailuksi jälleen ottaa tuulivoiman. Viime vuosina valmistuneet tuulivoimaprojektit ovat toteutuneet pääosin ulkomaalaisten yritysten toimesta. Aurinkosähköprojektit olisivat yksikkökohtaisesti sen verran pieniä, että todennäköisesti ne toteutettaisiin pääosin kotimaisin voimin, millä olisi tietysti vaikutusta Suomeen jääviin verotuloihin. Jos valtio tukisi samassa suhteessa aurinkoenergiaa, kuin se on tukenut tuulivoimaa, verotulojen kautta palautuva euromäärä olisi korkeampi aurinkoenergian kohdalla, mikä jälleen lisäisi aurinkoenergian kannattavuutta.

Myös aurinkopaneelien tuotantoon Suomessa olisi hyvät edellytykset korkeasti koulutetun työvoiman vuoksi.

Aurinkovoimalalla on myös etunaan sen sijoittaminen, sillä niiden asentaminen jo olemassa oleviin rakenteisiin, kuten katoille ja seiniin, eivät vie pinta-alaa vapaana olevalta maapinta-alalta. Aurinkovoimalat eivät myöskään ole niin näkyviä kuin esimerkiksi tuulivoimalat. Lisäksi rakennuksia valmistettaessa tai remontoinneissa katto- tai seinäpinnoitteita voidaan korvata paneeleilla, jolloin jälleen aurinkopaneelin hyöty kasvaa.

LÄHTEET

Arevasolar. 2015. Omakotitalo verkkoon kytketty järjestelmä. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.arevasolar.fi/sites/default/files/pictures/omakotitalo_verkkoonkytketty_jarjestelma.jpg. Luettu 1.7.2015.

Aurinkovirta 2015. Aurinkosähkövoimala, verkkoinvertteri. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/verkkoinvertteri/>. Luettu 3.7.2015.

Aurinkoteknillinen yhdistys 2015. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi>. Luettu 3.7.2015.

Halvat 2015:(<http://www.halvat.org>) <http://www.halvat.org/sahko/aurinkopaneeli.html>

Store norske leksikon

Motiva

www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF Luettu 5.8.2015

Solpros ay, 2001 Luettu 6.7.2015

www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf Luettu 30.6.2015

www.aurinkovirta.fi/ Luettu 18.7.2015

www.finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf Luettu 15.7.2015

Internet-sivu: gstatic 2015

KUVIOT

KUVIO 1. Aurinkokennon rakenne ja toimintaperiaate	5
KUVIO 2. Auringon säteilyspektrin muoto, sekä piikennon absorptioalue	6
KUVIO 3. Yksikiteinen pii aurinkokenno	7
KUVIO 4. Yksikiteinen piipaneeli	8
KUVIO 5. Monikiteinen aurinkopaneeli	9
KUVIO 6. Amorfinen piipaneeli	9
KUVIO 7. Aurinkopaneelijärjestelmä omakotitaloon	10
KUVIO 8. Invertteri	11
KUVIO 9. Kalajoen kohteen sähkön vuosikulutus	14
KUVIO 10. Muuramen kohteen sähkön vuosikulutus	17
KUVIO 11. Kalajoen ja Muuramen kohteiden toteutunut sähkönkulutus	22
KUVIO 12. Kalajoen keskimääräinen säteily määrä heinäkuu (PVGIS)	25
KUVIO 13. Muuramen säteily määrä heinäkuussa (PVGIS-classic)	28

KUVIO 14. Takaisinmaksuaika kohteissa

28

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Kalajoen kohteen sähkön kuukausikulutus	15
TAULUKKO 2. Kalajoen kohteen sähkön päiväkulutus heinäkuussa	16
TAULUKKO 3. Muuramen kohteen sähkön kuukausikulutus	18
TAULUKKO 4. Muuramen kohteen sähkön päiväkulutus heinäkuussa	19
TAULUKKO 5. Kalajoen aurinkopaneelien tuotto asennettuna suoraan katon kulman mukaisesti	23
TAULUKKO 6. Kalajoen aurinkopaneelien tuotto asennettuna 45° kulmaan	24
TAULUKKO 7. Muuramen aurinkopaneelien tuotto asennettuna suoraan katon kulman mukaisesti	26
TAULUKKO 8. Muuramen aurinkopaneelien tuotto asennettuna 45°:kulmaan	27
TAULUKKO 9. Takaisinmaksutaulukko	30